

论 著

MRI在颅内结核诊断中的应用及影像特点分析*

袁光峰¹ 任婉莹² 莫沛南²
唐 城² 任会丽^{2*}

1. 广州市胸科医院预防保健科

2. 广州市胸科医院放射科 (广东广州 510095)

【摘要】目的 探讨磁共振成像(MRI)在颅内结核诊断中的应用及影像特点分析。**方法** 回顾性分析2023年6月至2024年6月在本院接受MRI检查的患者194例作为研究对象,其中114例患者被诊断为颅内结核纳入颅内结核组,80例患者被诊断为病毒性脑膜炎纳入病毒性脑膜炎组,对两组患者进行MRI常规扫描,以及动态增强MRI(DCE-MRI)灌注加权成像(PWI)和弥散加权成像(DWI)检查。测量并比较两组血管外细胞外间隙容积分数(V_e)、相应区域的对比剂容积转换常数(K^{trans})以及速率常数(K_{ep})相对脑血流量(rCBF)、相对脑血容量(rCBV)、造影剂首次相对平均通过时间(rMTT)和相对表现弥散系数(rADC)。**结果** 颅内结核组的患侧脑白质ADC较对侧正常脑白质ADC升高($P<0.05$);病毒性脑膜炎组患侧脑白质ADC较对侧正常脑白质ADC降低($P<0.05$);颅内结核组rADC高于病毒性脑膜炎组($P<0.05$);颅内结核组 V_e 、 K^{trans} 、 K_{ep} 值均低于病毒性脑膜炎组($P<0.05$);受试者工作特征(ROC)曲线显示,患侧脑白质ADC的曲线下面积(AUC)最高,敏感度和特异度分别为90.35%、91.25%,差异有统计学意义($Z=49.085$, $P<0.05$);构建MRI定量参数诊断颅内肺结核的风险模型, $\text{Log}(P)=-12.474+9.607 \times \text{患侧脑白质ADC}+58.355 \times K^{trans}$, Homser-Lemeshow检验拟合优度=2.980, $P=0.936$ 。ROC曲线分析结果显示,联合诊断颅内结核的AUC为0.995(0.971~1.000),敏感度和特异度分别为99.37%、100.00%,约登指数为0.974($Z=116.207$, $P<0.05$)。**结论** MRI对颅内结核的诊断较高,可通过MRI得知患侧脑白质ADC明显升高,且rCBF明显降低,可为临床鉴别颅内结核提供依据。

【关键词】 磁共振成像; 颅内结核; 诊断; 影像特点

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 广东省医学科学技术研究

基金项目(A2024433);

广州市科技市校(院)企联合资助项目

(2025A03J3547)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.007

Application of MRI in the Diagnosis of Intracranial Tuberculosis and Its Imaging Features*

YUAN Guang-feng¹, REN Wan-ying², MO Pei-nan², TANG Cheng², REN Hui-li^{2*}.

1. Department of Preventive Health, Guangzhou Chest Hospital, Guangzhou 510095, Guangdong Province, China

2. Department of Radiology, Guangzhou Chest Hospital, Guangzhou 510095, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the application of magnetic resonance imaging (MRI) in the diagnosis of intracranial tuberculosis and its imaging features. **Methods** A total of 194 patients who were suspected of intracranial tuberculosis and received MRI in the hospital from June 2023 to June 2024 were reviewed. Among them, 114 patients were diagnosed with intracranial tuberculosis and 80 patients were diagnosed with viral meningitis. All patients underwent conventional MRI, dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) and diffusion-weighted imaging (DWI). Extravascular extracellular volume fraction (V_e), volume transfer constant (K^{trans}), rate constant (K_{ep}), and relative apparent diffusion coefficient (rADC) were compared between the two groups. **Results** For the intracranial tuberculosis group, the ADC value of brain white matter on the affected side was higher than that on the contralateral side ($P<0.05$). For the viral meningitis group, the ADC value of brain white matter on the affected side was lower than that on the contralateral side ($P<0.05$). rADC in the intracranial tuberculosis group was higher than that in the viral meningitis group ($P<0.05$). V_e , K^{trans} and K_{ep} in the intracranial tuberculosis group were lower than those in the viral meningitis group ($P<0.05$). The receiver operating characteristic (ROC) curves indicated that the area under the curve (AUC) of the ADC value of white matter on the affected side was the largest. The sensitivity and specificity were 90.35% and 91.25% ($Z=49.085$, $P<0.05$). The diagnostic model for intracranial tuberculosis constructed based on quantitative parameters of MRI was as follows: $\text{Log}(P)=-12.474+9.607 \times \text{the ADC value of white matter on the affected side}+58.355 \times rCBF$. Homser-Lemeshow test showed =2.980, $P=0.936$. The AUC of combined diagnosis of intracranial tuberculosis was 0.995 (0.971-1.000). The sensitivity, specificity and Youden index were 99.37%, 100.00% and 0.974 ($Z=116.207$, $P<0.05$). **Conclusion** MRI has high diagnostic accuracy for intracranial tuberculosis. It shows that the ADC value of brain white matter on the affected side is significantly increased and rCBF is significantly reduced, providing a basis for clinical identification of intracranial tuberculosis.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Intracranial Tuberculosis; Diagnosis; Imaging Feature

近年来,因多重耐药结核菌株的出现以及结核病治疗欠佳等问题,使得颅内结核的发病率也有所升高^[1]。颅内结核是因结核分枝杆菌随血液循环入侵颅内,导致脑实质和脑膜出现非化脓性炎症,是一种较为少见的肺外结核,其起病隐匿、发展迅速,具有较高的致死率和致残率,尽早诊断并提供合理治疗是改善患者预后的关键^[2-3]。但颅内结核的早期临床表现较为多样且缺乏特异性,易与病毒性脑膜炎误诊,使其诊断成为临床上的难题,目前对于颅内结核的诊断主要依靠临床表现、实验室检查、临床治疗效果等,常规脑脊液结核菌检查的阳性率较低,并且耗时长,易延误对患者的治疗,而诊断不及时也是导致颅内结核患者病死率升高的主要因素^[4-5]。因此科学分析颅内结核患者的特征,尽早对可疑颅内结核进行诊断,对改善患者预后至关重要。随着核磁共振设备及其技术的普及,磁共振成像(MRI)作为一种无创、快捷的检查手段,在神经系统诊断中的应用价值已获得广泛认可^[6]。MRI具有较好的软组织分辨率,具有任意切面和三维成像的特点,有利于解剖学结构的显示,并且对细微病理变化更为敏感,可清晰显示患者病变组织的性质和成分^[7-8]。因此,本研究通过MRI对颅内结核患者进行诊断,探讨MRI在颅内结核诊断中的应用价值和影像学特点。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2023年6月至2024年6月在本院接受MRI检查的患者194例作为研究对象,其中男性107例,女性87例。其中114例患者被诊断为颅内结核,纳入颅内结核组,年龄32~57岁,平均(43.58±4.13)岁。另外80例患者被诊断为病毒性脑膜炎,纳入病毒性脑膜炎组,年龄29~58岁,平均(44.19±4.25)岁。MRI检查:颅内结核组在发病的14~75d进行,病毒性脑膜炎组在发病的7~33d进行。

纳入标准: (1)临床资料完整; (2)在术前或治疗前完善相关影像学检查; 排除标准: (1)严重精神疾病; (2)伴有严重脏器功能障碍者; (3)其他颅内感染性病变者。颅内结核组诊断依据: (1)所有病例头颅MRI显示有颅内病变; (2)存在颅内高压、脑膜刺激征或神经系统症状; (3)经过抗痨治疗,症状好转或颅内病灶缩小、消失; (4)符合《肺结核活动性判断规范及临床应用专家共识》^[9]对结核性脑膜炎的诊断标准。病毒性脑膜炎

【第一作者】袁光峰,男,主任技师,主要研究方向:CT、MRI影像组学、影像数据挖掘及临床应用研究。E-mail: kenson8888@163.com

【通讯作者】任会丽,女,主任医师,主要研究方向:结核病、NTM、肺部肿瘤等疾病的影像诊断。E-mail: leafrenly@163.com

组诊断依据：(1)符合急性脑炎的症状和体征；(2)脑脊液含有特异性病毒抗体；(3)发病1周前有病毒感染史；(4)经抗病毒等药物治疗痊愈。

1.2 检查方法 采用联影UMR560 1.5T MR成像仪24通道相控阵头颅线圈完成检查，所有患者在治疗前均接受MRI平扫、动态增强MRI(DCE-MRI)、弥散加权成像(DWI)检查。以配套高压注射器，按0.1mmol/kg的剂量注射造影剂Gd-DTPA，速率为3~5ml/s，经肘前静脉注射套管针。

1.3 图像处理和分析 DCE-MRI数据处理：将DCE-MRI传输至Syngo MMWP VE40A后处理工作站，经Tissue 4D(MR)软件处理，分别于环形强化病灶的环壁、中央坏死区、实性强化结节划取3个感兴趣区(ROI)并取其平均值，获得相应区域的对比剂容积转换常数(K^{trans})、血管外细胞外间隙容积分数(V_e)以及速率常数(K_{ep})。

DWI数据处理：经ADW 4.0工作站FuncTool 9.4.05a中的DWI进行数据处理、重建ADC图。于图中选择病灶区和对侧正常区域，并计算DWI的ADC值；将ROI放置于病变明显区域和对侧正常区域，大小为 $25\text{mm}^2\sim 40\text{mm}^2$ ，正常区放置2~3个ROI并取ADC的平均值，相对ADC(rADC)为病变明显区域ADC与正常区域ADC之比。

1.4 统计学方法 采用SPSS 26.0处理研究数据，计数资料用率表示，检验；计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示，t检验。以Logistic回归模型分析MRI定量参数对颅内结核的诊断效能，Homser-Lemeshow检验模型拟合优度；受试者工作特征(ROC)曲线采用Mecal软件绘制；以Graphpad Prism 5.0软件进行作图。检测水准： $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组DWI的ADC值比较 颅内结核组的患侧脑白质ADC较对侧正常脑白质ADC升高($P<0.05$)；病毒性脑膜炎组患侧脑白质ADC较对侧正常脑白质ADC降低($P<0.05$)；颅内结核组rADC高于病毒性脑膜炎组($P<0.05$)，见表1。

2.2 两组DCE-MRI的 V_e 、 K^{trans} 、 K_{ep} 值比较 颅内结核组 V_e 、 K^{trans} 、 K_{ep} 值均低于病毒性脑膜炎组($P<0.05$)，见表2。

2.3 MRI定量参数对颅内结核的诊断价值 以MRI定量参数为检验值，颅内结核为阳性、病毒性脑膜炎为阴性，绘制ROC曲线。结果显示以患侧脑白质ADC、 K^{trans} 和rADC的AUC较高，分别为0.972、0.963、0.847，其中以患侧脑白质ADC的AUC最高，敏感度和特异度为90.35%、91.25%，差异有统计学意义($Z=49.085$, $P<0.05$)，见表3、图1。

2.4 MRI定量参数联合诊断颅内结核的价值 以患侧脑白质ADC、对侧正常脑白质ADC、rADC、 V_e 、 K^{trans} 、 K_{ep} 为协变量，颅内结核为因变量行Logistic逐步回归分析，对侧正常脑白质ADC、rADC、 V_e 、 K_{ep} 未进入模型，仅患侧脑白质ADC、 K^{trans} 与颅内结核有关；基于Logistic逐步回归分析构建MRI定量参数诊断颅内肺结核的风险模型， $\text{Log}(P)=-12.474+9.607 \times \text{患侧脑白质ADC}+58.355 \times K^{trans}$ ，Homser-Lemeshow检验拟合优度=2.980， $P=0.936$ 。ROC曲线分析结果显示，联合诊断颅内结核的AUC为0.995(0.971~1.000)，敏感度和特异度分别为99.37%、100.00%，约登指数为0.974($Z=116.207$, $P<0.05$)，见表4、图2~4。

表1 两组DWI的ADC值比较($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)

组别	例数	患侧脑白质ADC	对侧正常脑白质ADC	rADC
颅内结核组	114	1.16±0.35*	0.80±0.24	1.44±0.38
病毒性脑膜炎组	80	0.42±0.20*	0.93±0.29	0.94±0.29
t		18.724	3.406	10.489
P		<0.001	0.001	<0.001

注：与本组对侧正常脑白质ADC比较* $P<0.05$ 。

表2 两组PWI的 V_e 、 K^{trans} 、 K_{ep} 值比较

组别	例数	V_e	$K^{trans}(\text{min}^{-1})$	$K_{ep}(\text{min}^{-1})$
颅内结核组	114	0.48±0.17	0.17±0.06	0.36±0.11
病毒性脑膜炎组	80	0.34±0.13	0.06±0.02	0.21±0.08
t		6.201	15.784	10.413
P		<0.001	<0.001	<0.001

表3 MRI定量参数对颅内结核的诊断价值

预测指标	AUC	95%CI	Z	P	约登指数	临界值	敏感度(%)	特异度(%)
患侧脑白质ADC	0.972	0.938~0.991	49.085	<0.001	0.816	$>0.71(10^{-3}\text{mm}^2/\text{s})$	90.35	91.25
对侧正常脑白质ADC	0.683	0.612~0.748	4.716	<0.001	0.420	$\leq 0.83(10^{-3}\text{mm}^2/\text{s})$	57.02	85.00
rADC	0.847	0.788~0.894	12.809	<0.001	0.582	$>1.24(10^{-3}\text{mm}^2/\text{s})$	71.93	86.25
V_e	0.713	0.644~0.776	5.627	<0.001	0.397	>0.4	68.42	71.25
K^{trans}	0.963	0.927~0.985	35.091	<0.001	0.856	$>0.1\text{min}^{-1}$	86.84	98.75
K_{ep}	0.834	0.774~0.883	11.701	<0.001	0.532	$>0.29\text{min}^{-1}$	71.93	81.25

表4 MRI定量参数联合诊断颅内结核的价值

自变量	β	SE	Wald	OR	95%下限	95%上限	P
患侧脑白质ADC	9.607	2.506	14.702	3.323	2.796	6.163	<0.001
K^{trans}	58.355	15.808	13.626	2.204	1.297	1.587	<0.001
常量	-12.474	2.592	12.170	-	-	-	<0.001

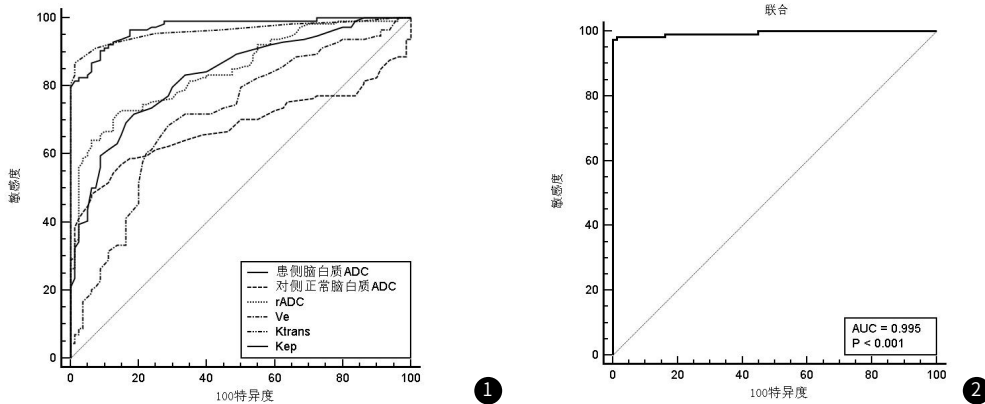


图1 MRI定量参数对颅内结核的诊断价值。图2 MRI定量参数联合诊断颅内结核的价值。

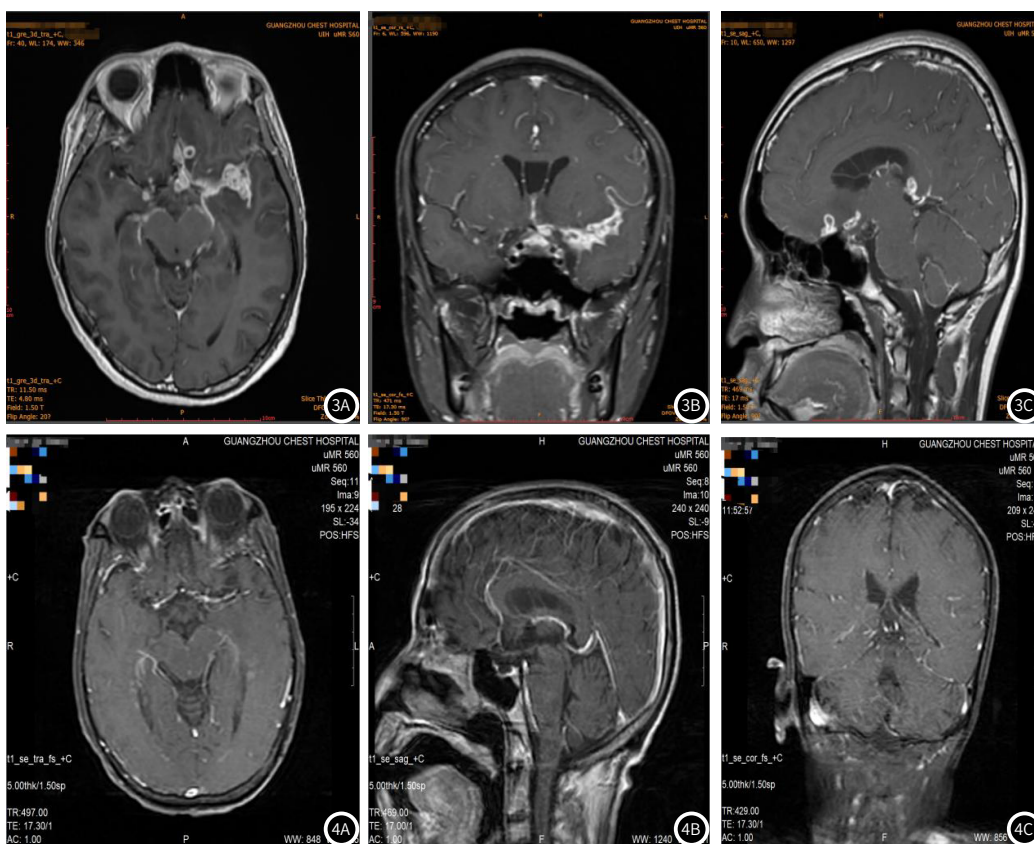


图3A~3C 颅内结核组典型病例MRI图像。图4A~4C 病毒性脑膜炎组典型病例MRI图像。

3 讨论

颅内结核是结核分枝杆菌植入蛛网膜下腔，引起的增生性脑膜炎，典型症状为蛋白质升高、低糖等^[10]。但颅内结核患者早期症状并不显著，同时会出现脑膜刺激征、高颅压等表现，易误诊为病毒性脑膜炎，导致患者治疗不充分或治疗有偏差，未能完全治愈疾病，甚至有恶化的可能^[11-13]。MRI能够清晰显示颅内软组织的分布情况，在神经系统疾病的诊断和鉴别中具有其它检查方式无可比拟的优势，并具有无创、便捷等特点^[14-15]。基于此本研究以MRI对颅内结核进行诊断，并探讨MRI定量参数对颅内结核患者的诊断价值，旨在为颅内结核的诊断、治疗提供新的评价手段。

本研究结果显示，颅内结核组的患侧脑白质ADC较对侧正常脑白质ADC升高；病毒性脑膜炎组患侧脑白质ADC较对侧正常脑白质ADC降低；颅内结核组rADC高于病毒性脑膜炎组，提示不同类型所致的中枢神经系统感染的MRI定量参数存在差异性，患者在感染颅内结核后会导致DWI-ADC的值升高，并且明显高于对侧正常脑白质和病毒性脑膜炎脑白质，可以此进行区分。ADC值反应水分子在人体组织中的扩散能力，水平越高表示其扩散能力越强。因疾病会引起血管源性水肿，导致细胞间隙扩大，使水分子扩散加快、病灶扩散不受限，从而经MRI诊断可出现ADC值

升高的表现^[16-18]。此外研究还显示,颅内结核组rCBF、rCBV、rMTT值均低于病毒性脑膜炎组,表明连两者在PWI的参数中也存在差异性,可通过此鉴别颅内结核和病毒性脑膜炎。DCE-MRI是通过注射对比剂获得对比剂流入病灶前、中、后的图像,有研究指出,其定量参数 V_e 、 K^{trans} 、 K_{ep} 值可反映脑结核的活动性。因结核结节中成纤维细胞、炎性细胞等多种成分,使得组织结构中会有较多的间质间隙,从而易残留对比剂,同时结核内部还会存在多个微小的坏死灶,坏死灶局部破损也会使对比剂流入组织间隙,使得 V_e 值较高^[19-21]。 K_{ep} 、 K^{trans} 可反应脑组织内的血流量和血管通透性,颅内结核患者由于血脑屏障持续被破坏,会导致血管通透性增加,从而促使 K^{trans} 水平增加;并有国外研究指出,结核由细胞介导的免疫反应会诱导血管内皮生长因子产生,使结核结节出现新生血管化,由于血供丰富加上新生血管发育尚不成熟、结构扭曲等原因,易使对比剂渗透至血管外间隙使得 K^{trans} 、 K_{ep} 水平升高^[22]。本研究还对MRI定量参数诊断效能进行评估,其中以患侧脑白质ADC的AUC水平最高为0.972,敏感度和特异度为90.35%、91.25%,证实了颅内结核与病毒性脑膜炎存在显著差异性,可通过MRI定量参数对患者进行诊断、评估。此外,本研究还根据Logistic回归分析记过构建了诊断模型,结果显示拟合度良好,其AUC为0.995,敏感度和特异度分别为99.37%、100.00%,表明通过MRI定量参数的联合评估,可进一步提升诊断效能,帮助临床鉴别颅内结核。

综上所述, MRI的定量参数可帮助临床更好鉴别颅内结核和病毒性脑膜炎,其中患侧脑白质ADC具有更高的诊断效能,并可通过联合诊断提升诊断效能。

参考文献

[1] 杜雨香, 周鹏园. MRI在高原地区颅内感染性病诊断中的应用及影像特点分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(8): 35-37.

[2] 马维江, 杨立民, 张利, 等. Th22细胞和白细胞介素-22的生物学作用及在结核病免疫中作用的研究进展[J]. 感染、炎症、修复, 2019, 20(3): 189-192.

[3] 范层层, 李依明, 屠淑敏, 等. 脑脊液IGF-II、VE-cadherin、IL-27表达水平及其鉴别诊断中枢神经系统感染的价值[J]. 中华医院感染学杂志, 2022, 32(24): 3721-3725.

[4] 李雪莲, 叶兰香, 刘娟娟, 等. 颅内感染患者血清干扰素- γ 、纤维蛋白原和氧化应激指标水平变化及意义[J]. 山东医药, 2022, 62(16): 72-75.

[5] 李志新, 扈园园, 刘春红, 等. 神经介入治疗后颅内感染患者脑脊液PCT、IFN- γ 、Tim-3及sICAM-1表达及意义[J]. 中华医院感染学杂志, 2022, 32(21): 3278-3281.

[6] 李丹, 崔萌萌, 贾艳芳. 中枢神经系统血管外皮细胞瘤与脑膜瘤鉴别诊断中CT、MRI的应用[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(8): 8-10.

[7] 张东阳, 王树叶, 刘玥, 等. 原发性中枢神经系统淋巴瘤MRI图像参数与分子病理的关联性分析[J]. 中国肿瘤临床, 2024, 51(8): 401-405.

[8] 罗环宇, 胡迪, 杨双凤, 等. 基于临床和MRI特征的足月新生儿化脓性脑膜炎神经系统不良预后高危因素分析[J]. 中华放射学杂志, 2024, 58(3): 301-306.

[9] 邓国防, 路希维. 肺结核活动性判断规范及临床应用专家共识[J]. 中国防痨杂志, 2020, 42(4): 301-307.

[10] Kong C, Xu D, Wang Y, et al. Amplitude of low-frequency fluctuations in multiple-frequency bands in patients with intracranial tuberculosis: a prospective cross-sectional study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2022, 12(8): 4120-4134.

[11] 孙杰, 李根, 张友桂, 等. 重症肺炎合并肺结核患者的病原菌分布及耐药性分析[J]. 西北药学杂志, 2021, 36(3): 494-498.

[12] 赵燕燕, 李雨欣, 姜有珠, 等. 成人颅内结核抗结核治疗过程中矛盾反应的诊断及处理[J]. 山东医药, 2022, 62(3): 25-29.

[13] Wu X, Yang X, Wang B, et al. Relationship between magnetic resonance imaging findings and prognosis of intracranial tuberculosis[J]. Acta Radiol, 2023, 64(1): 267-273.

[14] 余爱勇, 许凡勇, 王顺娟, 等. 脑膜血管型神经梅毒病灶侧和对侧核磁共振灌注加权成像特征的研究[J]. 中风与神经疾病杂志, 2022, 39(1): 64-68.

[15] 张少茹, 周云舒, 张若弟, 等. 多参数MRI影像组学模型鉴别高级别胶质瘤与原发性中枢神经系统淋巴瘤的价值[J]. 磁共振成像, 2023, 14(10): 53-57, 64.

[16] 丁爽, 努尔阿丽牙·艾力, 贾文霄. 脑实质结核治疗后活性演变的DWI表现及DCE-MRI量化分析[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2020, 26(4): 301-305.

[17] 靳晓娜, 吴美其, 罗亚平. 脑膜病变18F-FDG PET/CT鉴别诊断1例[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(5): 309-311.

[18] Feraco P, Donner D, Gagliardo C, et al. Cerebral abscesses imaging: A practical approach[J]. J Popul Ther Clin Pharmacol, 2020, 27(3): e11-e24.

[19] Pichl T, Wedderburn CJ, Hoskote C, et al. A systematic review of brain imaging findings in neurological infection with Japanese encephalitis virus compared with Dengue virus[J]. Int J Infect Dis, 2022, 119: 102-110.

[20] 胡迪, 郇英子, 李航, 等. 儿童肺炎链球菌性与大肠杆菌性化脓性脑膜炎MRI影像学特点对比分析[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(11): 2304-2309.

[21] 丁爽, 努尔阿丽牙·艾力, 贾文霄. 脑实质结核治疗后活性演变的DWI表现及DCE-MRI量化分析[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2020, 26(4): 301-305.

[22] Zucchi FC, Tsanaclis AM, Moura-Dias Q Jr, et al. Modulation of angiogenic factor VEGF by DNA-hsp65 vaccination in a murine CNS tuberculosis model[J]. Tuberculosis (Edinb), 2013, 93(3): 373-80.

(收稿日期: 2024-10-09)

(校对编辑: 赵望淇)